

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

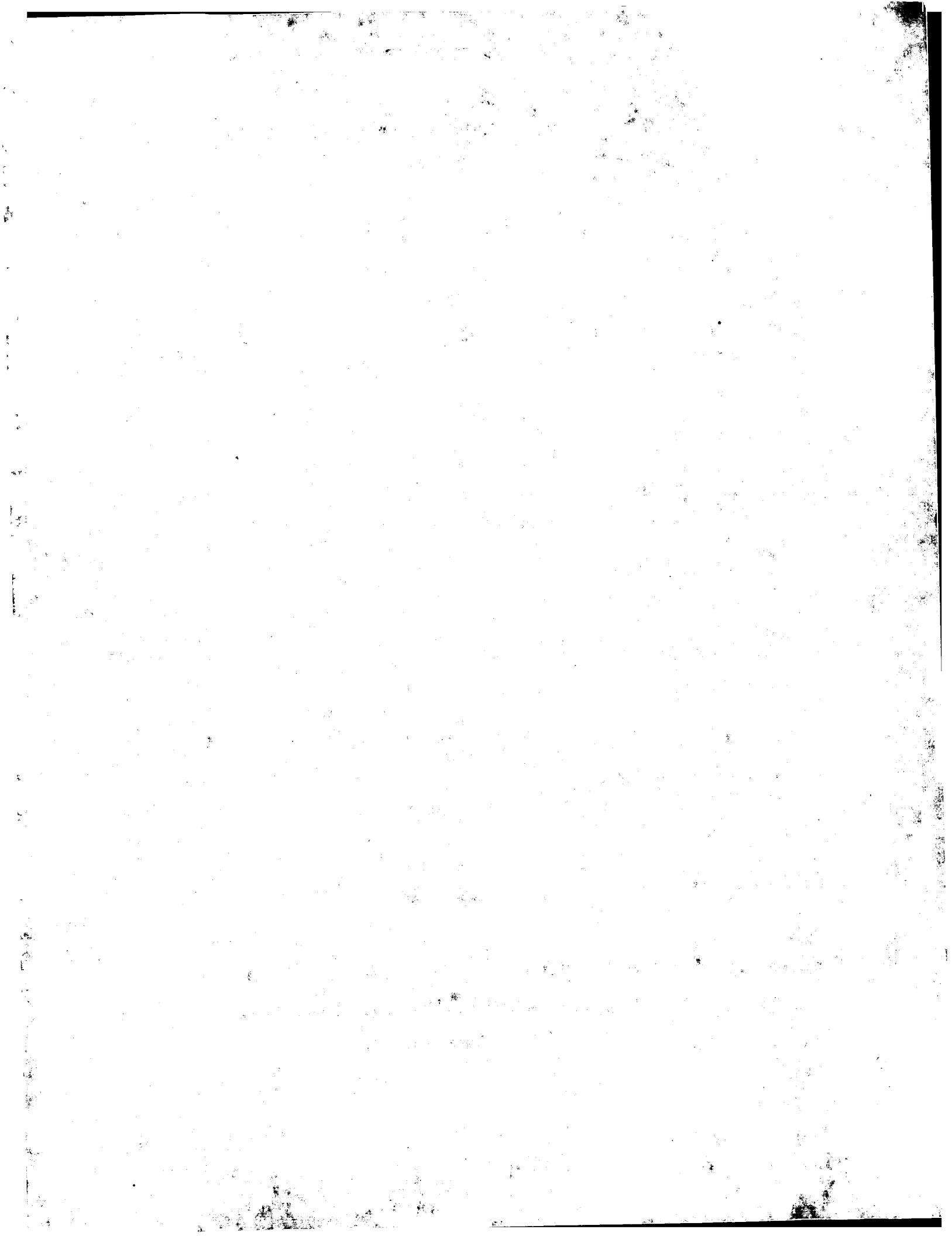
Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



Arrangement to measure particle, drop or bubble size or other characteristic in fluid flow; has light source and detectors for defocused imaging of interference pattern, and particles in bright points

Veröffentlichungsnr. (Sek.) DE19954702
Veröffentlichungsdatum : 2001-05-17
Erfinder : DAMASCHKE NILS (DE); TROPEA CAMERON (DE); STIEGLMEIER MANFRED (DK)
Anmelder : DAMASCHKE NILS (DE)
Veröffentlichungsnummer : ☐ DE19954702
Aktenzeichen:
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE19991054702 19991113
Prioritätsaktenzeichen:
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE19991054702 19991113
Klassifikationssymbol (IPC) : G01N21/45; G01N15/02; G01P5/26; G01B11/08; G01B11/30
Klassifikationssymbol (EC) : G01N21/45, G01N15/02B2, G01P5/00A, G01P5/00D, G01P5/20
Korrespondierende Patentschriften

Bibliographische Daten

The arrangement has a light source (A) to illuminate one or more areas and one or more planar or linear detectors for defocused imaging of the interference pattern and particles in the bright points of the pattern. Each different interference pattern is generated from two or more bright points of one and the same scattered light arrangement, where multiple solutions of a scattered light arrangement are included. An Independent claim is included for a method to determine particle diameter, refractive index, asphericity, oscillation characteristics, rotation speed of aspherical particles or inner construction of particle, drop, bubble, etc. or inhomogeneity in flow.

Daten aus der esp@cenet Datenbank - - I2



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 199 54 702 A 1

51 Int. Cl.⁷:
G 01 N 21/45
G 01 N 15/02
G 01 P 5/26
G 01 B 11/08
G 01 B 11/30

21 Aktenzeichen: 199 54 702.5
22 Anmeldetag: 13. 11. 1999
43 Offenlegungstag: 17. 5. 2001

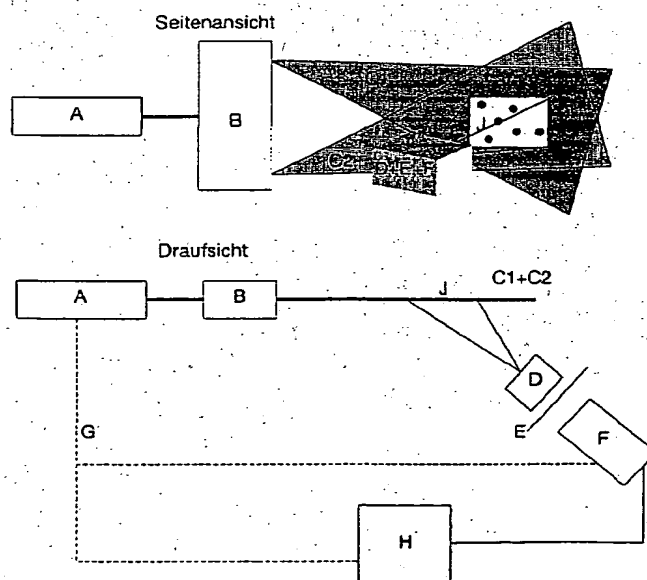
DE 199 54 702 A 1

- 71 Anmelder:
Damaschke, Nils, 64367 Mühlthal, DE
- 72 Erfinder:
Tropea, Cameron, 64823 Groß-Umstadt, DE;
Damaschke, Nils, 64367 Mühlthal, DE; Stieglmeier,
Manfred, Skorunde, DK
- 56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:
Proc.LDA Symposium Copenhagen, Technical
University of Denmark, Lyngby, Denmark, 1975,
S.403-429;
Diplomarbeit im Studiengang Physik, Universität
Bremen, Bremen, Germany;
Albrecht, H.-E.: Laser-Doppler-Strömungsmessung
German, Akademie-Verlag, Berlin, 1986;
Durst, F., u.a.: Theorie und Praxis der Laser-
Doppler-Anemometrie, German, G. Braun Verlag,
Karlsruhe, 1987;
Raffel, M., et.al.: Particle Image Velocimetry,

Springer Verlag, 1998;
Proc. 9th Int. Symp. on Appl. of Laser Anemom. to
Fluid Mech., Lisbon, paper 18.1., 1998;
Proc. 9th Int. Symp. of Appl. of Laser Techn. to
Fluid Mechanics, Lisbon, paper 18.2, 1998;
Appl. Optics 35, No.24, S.4919-4929;
MASSOLI, P., CALABRIA R.: Sizing of droplets in
reactive fuel sprays by Mie scattering imaging,
ILASS-Europe '99, Toulouse, 1999;
J. Aerosol Sci. 17, 2, 1986, S.157-167;
Appl. Optics 34, 36, 1995, S.8409-8421;
Part. Part. Syst. Charact. 7, 1990, S.221-225;
Appl. Optics 20, 17, 1991, S.2911-2918;
Proc. VSJ-SPIE 98, Yokohama, paper AB0095, 1998;
SCHALLER 1990 Laseroptische Meßtechnik:
Erweiterung bestehender Verfahren und
Entwicklung
neuer Techniken, Habilitationsschrift, RWTH Aachen;
Part. Part. Syst. Charact. 13, 1996, S.165-170;
Meas. Sci. Technol. 8, 1997, S.1465-1479;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

- 54 Planares-Interferenz-Partikelgrößenmeßgerät
- 57 Anordnung einer oder mehrerer Volumen- oder Flächenbereich beleuchtender mono- oder polychromatischer Wellen und einer oder mehrerer flächen- oder linienhaften Detektoren zur flächen- oder volumenhaften defokussierten Abbildung der durch zwei oder mehrerer Glanzpunkte von im Beleuchtungsbereich der einfallenden Wellen befindlichen Partikeln erzeugten Interferenzstreifenmuster, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils ein der verschiedenen in der Abbildung aufgenommenen Interferenzstreifenmuster von zwei oder mehr Glanzpunkten ein und derselben Streulichordnung, wobei Mehrfachlösungen einer Streulichordnung eingeschlossen sind, erzeugt wird und Verfahren zur Bestimmung des Partikeldurchmessers, des Brechungsindex, der Nichtsphärizität, der Oszillationseigenschaften, der Rotationsgeschwindigkeit nichtsphärischer Partikel und/oder des inneren Aufbaus von Partikeln, wobei unter Partikeln Tropfen, Blasen, Feststoffteilchen oder andere für die Wellenausbreitung bedeutsame Inhomogenitäten im Medium zu verstehen sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Beziehungen zwischen zwei oder mehr räumlich, zeitlich oder anderweitig zu trennenden defokussierten Abbildungen der Interferenzstreifenstruktur der von zwei oder mehrerer Glanzpunkten ausgehender Streuwellen zur Bestimmung der Partikeleigenschaften genutzt werden.



DE 199 54 702 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren entsprechend dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und 2.

Die Erfindung liegt im Bereich der Partikelmeßtechnik, wobei unter Partikeln/Teilchen sowohl Feststoffteilchen als auch Tropfen und Blasen zu verstehen sind. Derzeitige Meßgeräte für die Bestimmung der Teilchengröße werden grob in zwei Kategorien eingeordnet: Integralverfahren, wie z. B. Beugungsspektrometer und Zählverfahren, wie z. B. die Phasen-Doppler-Meßtechnik [1, 2]. Integralverfahren messen die gesamte Verteilung der Partikelgrößen, ordnen den Einzelteilchen jedoch nicht konkrete Durchmesserwerte zu.

Zählverfahren detektieren und messen einzelne Partikel, normalerweise mit einer gleichzeitigen Erfassung der Geschwindigkeit, so daß nicht nur Verteilungsfunktionen der Teilchengrößen ermittelt werden können sondern auch Korrelationen zwischen Teilchengröße und -geschwindigkeit sowie Volumen-/Massenkonzentrationen und Anzahl-/Volumen-/Massendurchsatz.

Alle derzeitigen Zählverfahren zur Bestimmung der Partikelgröße messen in räumlichen Sinne lokal, d. h. über ein verhältnismäßig kleines Meßvolumen im Verhältnis zum Teilchenabstand. Des weiteren sind diese Verfahren damit nicht in der Lage mehr als ein Teilchen zu einem Zeitpunkt zu erfassen.

Phasen-Doppler

Beispiel hierfür ist die Phasen-Doppler- (PD-) Meßtechnik. Die PD-Meßtechnik baut auf der Laser-Doppler (LD-) Meßtechnik auf. Bei der LD-Meßtechnik erzeugen zwei sich kreuzende Laserstrahlen in Ihrem Schnittbereich ein Meßvolumen. Durchquert ein Teilchen dieses Meßvolumen breiten sich zwei Streuwellen, jeweils zu den beiden Laserstrahlen gehörend, im Raum aus und interferieren miteinander. Ein beliebig positionierten Empfänger nimmt die in den Raum gestreute Lichtintensität wahr. Aufgrund der Interferenz der Streuwellen und der Bewegung des Teilchens streichen die Interferenzstreifen über den Empfänger. Die vom Empfänger detektierte Frequenz ist proportional der Geschwindigkeit des Teilchens [3, 4].

Die Erweiterung der LD-Technik zur PD-Technik beinhaltet einen weiteren an einer anderen Stelle positionierten Detektor. Beide Detektoren bestimmen zu einem Zeitpunkt unterschiedliche Phasenlagen des im Raum vorhandenen Interferenzfeldes. Da der räumliche Streifenabstand vom Abstand der beiden Austritts- Quell- oder Glanzpunkte (Glanz points) der Streuwellen und damit vom Partikeldurchmesser abhängig ist, läßt sich mit einer Phasendifferenzmessung zwischen den beiden Detektoren der Partikeldurchmesser bestimmen. Im Falle einer dominierenden Streulichtordnung, ist die Beziehung zwischen Phasendifferenz und Partikeldurchmesser für Partikel größer gleich der Wellenlänge linear, was eine Bestimmung des Partikeldurchmesser ermöglicht [1, 2].

Nachteile der PD-Technik

Die PD-Meßtechnik setzt verschiedene Bedingungen für die Bestimmung der Partikelgröße voraus. Die Partikel müssen sphärisch und homogen sein. Das empfangene Streulicht darf nur von einer Streulichtordnung herrühren. Des weiteren darf sich jeweils nur ein Partikel im Schnittbereich der einfallenden Wellen aufhalten, bzw. das vom Empfänger detektierte Signal darf nur Streulicht eines Partikels enthalten. Gerade die letzte Bedingung beinhaltet, daß das PD-Meßverfahren ein räumlich sehr kleines, quasi punktförmiges,

Meßvolumen voraussetzt.

Es besteht jedoch großer Bedarf für sog. Flächenmeßverfahren, d. h. Verfahren, die über eine gesamte Ebene Teilchengröße und -geschwindigkeit erfassen.

Particle-Image-Velocimetry

Ein Verfahren zur Bestimmung eines Geschwindigkeitsfeldes ist die Particle-Image-Velocimetry (PIV) [5]. Die in einem Medium vorhandenen Partikeln werden mit einem Lichtschnitt beleuchtet. Mit einer Kamera kann zu zwei aufeinanderfolgenden Zeitpunkten ein Bereich dieses Lichtschnittes aufgenommen werden. Bei bekanntem zeitlichen Abstand der Aufnahmen kann anhand der Verschiebung der Partikeln deren Geschwindigkeit ermittelt werden. Sind eine gewisse Anzahl von Partikeln in den beiden Aufnahmen zu erkennen, so läßt sich ein Geschwindigkeitsfeld bestimmen. Die PIV-Technik ist demnach ein Flächenmeßverfahren für die Geschwindigkeit.

Nachteil PIV

Entscheidender Nachteil der PIV ist, daß Partikelgrößenmessungen nicht möglich sind, da die Kamera auf den Lichtschnitt fokussiert ist und durch die Beleuchtung mittels einer Quelle die Partikelumrisse nicht erkannt werden können.

Für die flächenhafte Bestimmung des Partikeldurchmesser sind in jüngster Zeit zwei Anordnungen und Verfahren entwickelt worden, die als sehr nahestehend zur vorliegenden Erfindung zu betrachten sind.

Planar Interferometric Imaging (PII)

Die erste Entwicklung, genannt Planar Interferometric Imaging, ist inzwischen unter verschiedenen Namen bekannt, darunter Planar Mie Scattering Interferometry, Interferometric Laser Imaging for Droplet Sizing, Mie Scattering Imaging und Planar Particle Image Analysis [6-14].

Es nutzt die Interferenz zweier Streuordnungen der Lorenz-Mie-Streuung von kleinen Partikeln, um dadurch deren Größe zu bestimmen. Bisher liegen Ausführungen vor, bei denen die Interferenz zwischen Reflexion und Brechung erster Ordnung genutzt wird. Die Streuung kommt von einem durch die disperse Zweiphasenströmung gespannten Laserlichtschnitt. Das Streulicht wird bei einem Streuwinkel nahe 90 Grad aufgenommen, da die Streuamplitude der zwei genannten Ordnungen bei diesem Winkel für paralleler Polarisation nahezu gleich ist. Ein Flächendetektor, typischerweise eine CCD-Kamera wird außerhalb der Bildebene der Aufnahmeoptik positioniert, so daß die einzelnen Teilchen nicht im Fokus erscheinen. Aufgrund der zwei Streulichtordnungen existieren zwei sogenannte Glanzpunkte (glare points), Punkte auf der Partikeloberfläche an deren Stelle das Licht in Richtung des Detektors austritt. Die Interferenz der beiden Streuwellen führt zu einem Interferenzstreifensystem im Raum. Mit einem auf die Lichtschnittebene fokussierten Flächendetektor lassen sich diese beiden Glanzpunkte direkt abbilden. Ist der Flächendetektor jedoch so angeordnet, daß eine defokussierte Abbildung der Glanzpunkte entsteht sind die räumlichen Interferenzstreifen innerhalb eines von der Blendenform der Kamera abhängigen Umrisses erkennbar. Der Umriss ist von der Blendenform und Größe abhängig. Weiterhin ist der Umriss größer je stärker die Defokussierung ist, bzw. je weiter die Teilchen vom Fokuspunkt der Empfangsoptik entfernt sind. Der Abstand der Interferenzstreifen innerhalb des Umrisses ist für eine feste Defokussierung proportional dem Teilchendurchmes-

sers. Ein direktes Maß für den Partikeldurchmesser ist die Anzahl der Streifen innerhalb des Umrisses.

Der Brechungsindex ist ein weiterer Einflußparameter und wird normalerweise als gegeben angesehen. Eine Kalibrierung des Verfahrens ist prinzipiell nicht erforderlich, allerdings u. U. zweckmäßig, um z. B. die Einflüsse der Abbildungsoptik zu erfassen.

Da für die Aufnahme ein flächenhafter Detektor eingesetzt wird ist die gleichzeitige Aufnahme mehrerer Partikel auf einem Bild, ähnlich einer Aufnahme der PIV-Technik möglich.

Um eine momentane Messung aller im Bild erfaßten Teilchen zu sichern, wird als Beleuchtung ein gepulster Laser eingesetzt, dessen Pulsbereiche mit den Teilchengeschwindigkeiten abgestimmt werden muß.

Noch nicht realisiert ist eine Ausführung des Verfahrens mit einer Doppelpulsbeleuchtung, um somit auch die Teilchengeschwindigkeit mit den bekannten PIV (Partikel Image Velocimetry)-Verfahren zu erfassen. Prinzipiell steht jedoch hierzu nichts im Wege.

Nachteile von PII

Das PII-Verfahren hat drei einschränkende Nachteile, die mit der neuen Erfindung behoben werden sollen. Der erste Nachteil betrifft die Streurichtung, in der das Streulicht aufgefangen werden muß. Der zweite Nachteil bezieht sich auf die Monotonie der Partikeldurchmesser-Interferenzstreifenabstand-Beziehung. Der dritte Nachteil betrifft die Signalverarbeitung zur genauen Bestimmung des Partikeldurchmessers und zur Bestimmung weiterer Partikeleigenschaften.

Die PII-Technik fordert, daß stets die Interferenz zwischen Brechung und Reflexion zur Messung verwendet werden muß. Um einen hohen Modulationsgrad in den Interferenzstreifen zu erreichen sollte die Streuamplitude von Brechung und Reflexion etwa gleich sein. Dies stellt eine Einschränkung an den möglichen Winkelbereich zur Positionierung des Flächendetektors dar. Für einen Brechungsindex von 1.33 (Wasser in Luft) und parallele Polarisation ist dies gerade ein Streuwinkel von 90° , in dem die Streulichtintensität nicht sehr stark ist.

In jüngster Zeit sind jedoch verschiedene Ausführungen von PIV-Verfahren vorgestellt worden, die alle drei Geschwindigkeitskomponenten erfassen und dabei Kamerapositionen von z. B. 60° und 120° zur Lichteinfallrichtung verwenden [17]. Eine Kombination der PII-Verfahren und PIV-Verfahren zwecks Messung der Teilchengröße und -geschwindigkeit wäre somit nicht möglich.

Ein zweiter, unmittelbar aus der Verwendung der Interferenz der beiden Streulichtordnungen Reflexion und Brechung folgender Nachteil, bezieht sich auf den Zusammenhang zwischen Streifenabstand, bzw. Streifenanzahl im Umriss und dem Partikeldurchmesser. Da zwei unterschiedliche Streulichtordnungen verwendet werden ist die Monotonie, bzw. sogar Linearität zwischen Streifenabstand und Partikeldurchmesser nicht gegeben. Erste Untersuchungen hierzu wurden von Schaller [15] vorgestellt. Er berechnete die Glanzpunktpositionen der Brechung und Reflexion auf der Partikeloberfläche in Abhängigkeit vom Partikeldurchmesser und konnte starke Oszillation in der Beziehung nachweisen. Aufgrund der Oszillationen wird der Partikeldurchmesser-Interferenzstreifenabstand ähnlich wie bei der PD-Technik gestört und es treten Nichtlinearitäten auf, welche ein Partikeldurchmesserbestimmung verhindern können.

Ein dritter Nachteil der PII-Technik betrifft die Auswertung der aufgenommenen Bilder. Mit dem PII-Verfahren liegt

die Teilchengrößeninformation im Abstand der Streifen in einer "Out-of-Fokus"-Abbildung der Teilchen. Da die Abbildung aller Teilchen gleich groß sind, kann die Teilchengröße auch über die Anzahl der Streifen ermittelt werden. Verschiedene Auswertungsverfahren sind vorgestellt, die im wesentlichen eine möglichst hohe Genauigkeit dieser Parameterbestimmung erlauben, wobei die verhältnismäßig kurze Ausdehnung der Abbildung eine prinzipielle einschränkende Grenze darstellt. Grundsätzlich ist eine Frequenz- (oder Wellenzahl)-bestimmung von Signalen kurzer Dauer mit erhöhter Unsicherheit verbunden. Diese schlägt sich in einer Begrenzung des Auflösungsvermögens der Teilchengröße nieder bzw. in der Erhöhung der Varianz der Größenbestimmung.

Die zweite Entwicklung nennt sich Planar LIF Technique und wird kommerziell angeboten. In diesem Fall muß die zu messende disperse Phase (Teilchen) einen fluoreszierenden Zusatz erhalten, der vom Beleuchtungslichtschnitt angeregt wird. Der auch bei ca. 90° Grad positionierte Aufnahmeoptik beinhaltet zwei Flächendetektoren, die mittels Schmalbandfiltern zwischen direkte Streulicht durch die Lorenz-Mie-Streuung und das fluoreszierende Licht unterscheidet. Die Amplitude der zwei Anteile ist in etwa dem Teilchendurchmesser im Quadrat bzw. zur dritten Potenz proportional, so daß das Verhältnis der zwei Amplituden der Kenngröße D32 (Sauter mean diameter) proportional ist. Das Amplitudenverhältnis der zwei Bilder wird nach einer zeitlichen Mittelung rechnerisch gebildet. Das Verfahren benötigt eine Kalibrierung, hat nur Anwendungen für Flüssigkeitstropfen und gibt keine Auskunft über Einzeltropfen. Somit ist dieses Verfahren mit der vorliegenden Erfindung nicht sehr eng verwandt, obwohl eine ähnliche Zielsetzung verfolgt wird. Aufgabe der Erfindung ist es, die dargestellten Nachteile der PII-Technik:

- beschränkte Wahl des Empfängerwinkels,
- Nichtmonotonie in der Streifenanzahl- bzw. Streifenabstands-Durchmesser-Beziehung
- Ungenauigkeiten in der Streifenanzahl- bzw. Streifenabstands-Bestimmung

zu beheben und eine Erweiterung der PII-Technik zur Bestimmung

- der Nichtsphärizität von Partikeln
- der Oszillationsfrequenz von Partikeln
- des Brechungsindex
- des inneren Aufbaus der Partikel

durch Kombination mit den Vorteilen der Phasen-Doppler-Technik

- Monotonie in der Phasendifferenz-Durchmesserbeziehung

und der Particle-Image-Velocimetrie-Technik

- zwei zur Verfügung stehenden Abbildungen der Partikel an unterschiedlichen Stellen zur Bestimmung der Partikelgeschwindigkeit

zu ermöglichen.

Diese Aufgaben werden durch eine Anordnung und ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und 2 gelöst.

Zunächst wird eine beliebige Vorrichtung vorgeschlagen die eine flächen- oder volumenhafte Teilcheneigenschaftsmessung über eine oder mehr defokussierte Abbildungen von zwei oder mehr Glanzpunkten (Glare points) gleicher

Streulichtordnung pro Abbildung ermöglicht.

In den beispielhaften Fällen der Brechung und der Reflexion bedarf dies zwei oder mehr Einfallsstrahlen. Für höhere Streulichtordnungen ist das Vorhandensein von zwei oder mehr Glanzpunkten (zwei oder mehrere Streulichtmoden) ein und derselben Streulichtordnung, bzw. das Vorhandensein eines Regenbogens, bei einem oder mehreren einfallenden Strahl ausdrücklich miteingeschlossen. Es ist die Nutzung mehrerer Aufnahmeeinheiten, sprich mehrerer Abbildungen desselben Raumbereiches mit für die einzelnen Abbildungen unterschiedlichen Streulichtordnungen, aber innerhalb der Abbildungen gleichen Streulichtordnungen, eingeschlossen.

Weiterhin wird ein Verfahren vorgeschlagen welches die Interferenzstreifenbeziehungen in den defokussierten Abbildungen einer PIV-artigen Ein- oder Mehrpulsbelichtung, wobei unter Abbildungen jeweils ein Interferenzstreifenmuster von zwei Glanzpunkten, nicht unbedingt der gleichen Ordnung, verstanden wird, zur Erhöhung der Genauigkeit der Partikeldurchmesserbestimmung und zur Bestimmung anderer Partikeleigenschaften, wie Brechungsindex, Nichtsphärizität, Inhomogenität, Rotationsgeschwindigkeit und Partikeloszillationen nutzt.

Dieses Verfahren ist sowohl für die Auswertung von herkömmlichen PII-Bildern als auch für die Auswertung von Bildern der oben angegebene Vorrichtung anwendbar. Die Erhöhung der Genauigkeit bzw. die Bestimmung weiterer Partikeleigenschaften kann auch bei nur einer Belichtung erfolgen wenn gleichzeitig zwei Abbildungen aufgenommen werden und diese getrennt werden können, z. B. durch Polarisationsstrennung, Farbtrennung oder Ortsfrequenzstrennung (z. B. Interferenzstreifenrichtung und Interferenzstreifenfrequenz).

Vorteile der Vorrichtung

Die vorgeschlagene Vorrichtung nutzt die Interferenz von Streuwellen gleicher Ordnung. Im Gegensatz zur PII-Technik mit Reflexion und Brechung können auch die Streuwinkelbereiche genutzt werden, in denen nur eine Ordnung dominiert, so z. B. für den Fall von Wasser in Luft (Brechungsindex 1.333) im Streuwinkelbereich von 15° bis 80° für den Brechungsmodus. Die beiden das Interferenzfeld erzeugenden Glanzpunkte müssen für diesen Fall durch zwei einfallende Wellen erzeugt werden. Die Wellen können sowohl Lichtschnitte sein als auch räumlich ausgedehnte Wellen, welche ein Volumenbereich abgrenzen.

Die Anordnung beschränkt sich jedoch nicht ausschließlich auf zwei einfallende Wellen, da z. B. die Brechung 2. Ordnung für Wasser in Luft (Brechungsindex 1.333) ab einem Streuwinkel von etwa 135° einen Regenbogen bildet. Für eine Positionierung des Detektors in diesem Streuwinkelbereich ist die Bedingung der Interferenz von zwei Streuwellen gleicher Ordnung bereits bei einer einfallenden Welle gegeben, da die Brechung 2. Ordnung zwei Lösungen in Rückwärtsstreuung besitzt. Allgemein wird dieser Bereich als Regenbogenbereich bezeichnet.

Ein weiterer Vorteil der Anordnung ist die durch die Interferenz zwischen Streuwellen gleicher Ordnung zustande kommende Monotonie zwischen Partikeldurchmesser und Interferenzstreifenabstand, bzw. Interferenzstreifenzahl.

Diese Eigenschaften folgen direkt aus den Grundlagen der PD-Technik, bzw. der Regenbogenmeßtechnik. Ein herkömmliches PD-Signal kann als integrierte Intensität einer einzigen Abbildung eines defokussierten Partikels betrachtet werden. Bei Bewegung des Partikels bewegt sich der defokussierte Umriss und streicht über das räumliche Interferenzstreifensystem. Durch die in den Umriss hinein- und hin-

auslaufen Interferenzstreifen wird das klassische PD-Signal erzeugt.

In der vorgeschlagenen Anordnung wird das defokussierte Bild, und nicht dessen Integration bzw. Fokussierung, erzeugt und aufgenommen. Vorteil ist dabei, daß die Linearitätseigenschaften der Beziehung Partikeldurchmesser-Interferenzstreifenabstand der PD-Technik mit der flächen- bzw. volumenhaften Aufnahme der PIV- und PII-Technik zur Geschwindigkeits- und Partikeldurchmesserbestimmung kombiniert werden. Der in der PD-Technik zeitlich aufgelöste Interferenzstreifenabstand und dessen Phasenbeziehung ausgewählten Punkten im Raum wird mit der vorgeschlagenen Anordnung örtlich auf dem Detektor abgebildet.

Ein flächenhafter Aufnehmer (z. B. CDD-Kamera) sieht gleichzeitig alle Teilchen, die sich innerhalb der überdeckten Laserlichtschnitte befinden. Wie beim PD-Meßverfahren kann nun auch ein Streuwinkel gewählt werden, dort wo eine Streuordnung von beiden Lichtschnitten dominiert. Alle zulässigen Meßwinkel des PD-Verfahrens sind somit geeignet.

Die Kombination der flächenhafte Aufnahme mehrerer gestreuten Interferenzstreifensysteme mit der Regenbogenmeßtechnik ist ebenfalls möglich. Im Gegensatz zur Regenbogenmeßtechnik, bei der die Abbildung der Streulichtverteilung im Fernfeld zur Bestimmung des Partikeldurchmessers genutzt wird ist durch die defokussierte Abbildung eine gleichzeitige flächenhafte Aufnahme mehrerer Regenbögen und damit die gleichzeitige Bestimmung von Parametern, speziell des Partikeldurchmessers, mehrerer unterschiedlicher Partikel möglich.

Die neue Anordnung ermöglicht auch die Ausführung mit mehreren Kameras, um dadurch drei Geschwindigkeitskomponenten zu messen. Typische Anordnungen hierfür wäre in Raffel et. al 1998 zu sehen, wie z. B. eine stereoskopische Anordnung oder die Anordnung in Willert (1998) beschrieben.

Die optische Auslegung des Systems stellt weitgehend die gleichen Anforderungen bezüglich Schnittwinkel der Laserlichtschnitte, Streuwinkel, Abhängigkeit vom Brechungsindex etc., wie bei der Phasen-Doppler-Meßtechnik (PD).

Durch Veränderung des Schnittwinkels der beiden einfallenden Wellen und damit Veränderung des Interferenzstreifenabstandes ist es möglich im Gegensatz zur PII-Technik die Auflösung bzw. den Meßbereich der Anordnung zu verändern.

Ein weiterer Vorteil bei Nutzung von zwei oder mehr einfallenden Wellen, welcher das vorgeschlagene Verfahren zur Auswertung unterstützt, ist, daß das von den Streuwellen erzeugte und auf die Detektor defokussierte Abbild des Interferenzstreifensystem, aufgrund der zwei unabhängig einfallenden Wellen, in der Bildebene örtlich stationär ist bzw. dessen Bewegung durch die bekannten Gesetze der PD-Technik berechnet werden kann.

Durch die örtliche Auflösung des Interferenzstreifenmusters im Vergleich zur PD-Technik ist es möglich andere Partikeleigenschaften aus der Lage und Form der Interferenzstreifen zu bestimmen.

Aus der Deformation der Interferenzstreifen läßt sich auf deformierte, inhomogene bzw. raue Partikel schließen. Ändert sich der mit dem Interferenzstreifenabstand gekoppelte Partikeldurchmesser von einer Belichtung zur nächsten so kann anhand von Zwei- oder Mehrfachbelichtungen auf die Oszillation der Partikel geschlossen werden.

Ein und dasselbe Interferenzstreifensystem kann von unterschiedlichen Flächendetektoren an unterschiedlichen Raumpositionen erfaßt werden und aus den zusätzlichen Va-

lidierungsaussagen, bzw. Aussagen über weitere Partikeleigenschaften, wie Brechungsindex, innere Struktur, Deformation oder Rauigkeit abgeleitet werden. Diese Aussagen sind auch bei Verwendung von mehr als zwei Streifensystemen, die jeweils durch eine Streulichordnung erzeugt werden, und Trennung der Abbildungen durch Polarisierung, Farbe oder Ortsfrequenzbestimmung (z. B. Interferenzstreifenrichtung und Interferenzstreifenfrequenz) ableitbar.

Weiterhin können Komponenten aus der PD-Technik, wie z. B. Shiftung der einfallenden Wellen, orthogonale Orientierung verschiedener Interferenzstreifensysteme und/oder Empfänger zur Erhöhung der Meßgenauigkeit und der Bestimmung weiterer Partikelparameter beitragen. Die Nutzung dieser Effekte.

Vorteile des Verfahrens

Die zweite Idee verknüpft sich mit der Anwendung einer Doppel- oder Mehrfachbelichtung, um u. a. eine PIV-artige Bestimmung der Teilchengeschwindigkeit zu ermöglichen. Unter Doppler- oder Mehrfachbelichtung ist jedoch auch die, von der PIV-Technik unabhängige gleichzeitige Erzeugung von zwei oder mehr unterschiedlichen Interferenzstreifensystemen zu verstehen. Eine wichtige Erkenntnis, um das neue Verfahren zu verstehen, liegt in der Tatsache, daß die örtlich abgebildete Phase der Interferenzstreifen für alle Teilchenpositionen gleich bleibt, bzw. über die Gesetze der PD-Technik berechenbar ist. Wird zweimal belichtet, so entstehen zwei "Out-of-Focus"-Abbildungen für jedes einzelne Teilchen, welche sich im Zeitintervall der Belichtungen innerhalb der Lichtschnitte aufhalten. Abhängig von der Teilchengeschwindigkeit und der Zeit zwischen den Belichtungen, können die Abbildungen überlappen oder getrennt sein. Bei gerade noch überlappenden Abbildungen senkrecht zur Streifenausrichtung stehen nun doppelt so viele Interferenzstreifen zur Verfügung, um deren Abstand (oder Zahl) zu bestimmen. Sind die Abbildungen getrennt, erhöht sich gar die Gesamtanzahl der Streifen und somit die Meßgenauigkeit. In diesem Fall muß die Anzahl der nicht sichtbaren Streifen zwischen den Abbildungen über grobe Vorausschätzung des Streifenabstandes und Bewegung des Streifenmusters mit der Partikelposition ermittelt werden. Daher läßt sich die Meßgenauigkeit der Teilchengröße sogar über die Zeit zwischen Belichtungen bestimmen. Dies muß jedoch in Einklang mit der Anforderung der PIV-Meßtechnik zur Teilchenbestimmung gebracht werden. Dieses Auswertungsverfahren ist sowohl für das PII-Verfahren als auch für das neue Verfahren anwendbar.

Dieses Verfahren, der Genauigkeitserhöhung der Partikeldurchmesserbestimmung durch die Beziehung der Einzelabbildungen untereinander funktioniert dann, wenn die Teilchenbewegungen senkrecht zur Streifenrichtung steht. Dies stellt Anforderungen an die Ausrichtung der Laserlichtschnitte. Mit zwei Lichtschnitten würde eine günstige Auslegung die Lichtschnittthalbierende senkrecht zur Strömungshaupttrichtung vorsehen. Dies wäre mit den Anforderungen des Laser-Doppler-Meßverfahrens vergleichbar. Sind viele Strömungsrichtungen gleichzeitig vorhanden, z. B. in einer turbulenten Strömung, könnten weitere Lichtschnitte bei anderen Einfallswinkeln eingestrahlt werden. Eine Trennung der verschiedenen Interferenzstreifen wäre nicht notwendig, wie z. B. beim LD-Verfahren, da die eine eindeutige Orientierung in der Abbildung aufweisen.

Eine andere Möglichkeit zur Erhöhung der Genauigkeit der Durchmesserbestimmung bei Bewegung des Partikels parallel zu den Interferenzstreifen ist die Nutzung einer in der PD-Technik häufig verwendeten Frequenzverschiebung der einfallenden Strahlen zueinander. In diesem Falle bewe-

gen sich die Interferenzstreifen mit einer durch die Shiftfrequenz vorgegeben Geschwindigkeit. Die beiden oder mehreren Belichtungen tasten verschiedene Zeitpunkte und damit verschiedene Interferenzstreifenlagen ab, was für die Signalauswertung einer Relativbewegung senkrecht zu den Interferenzstreifen entspricht.

Ein weiterer Aspekt des Verfahrens, aus dem Vergleich unterschiedlicher defokussierter Abbildungen ein und desselben Partikels Partikeleigenschaften abzuleiten, ist die Bestimmung der Partikeldeformation. Liefern zwei zum gleichen Zeitpunkt aufgenommene Abbildungen bzw. Streifensysteme unterschiedliche Partikeldurchmesser, und liegen die Verbindungslinien zwischen den sie erzeugenden Glanzpunkte-Paaren nicht parallel zueinander, so werden zwei unterschiedliche Krümmungen der Partikeloberfläche vermessen. Daraus folgt, daß der Partikel von der sphärischen Form abweicht und eine Bestimmung der Nichtsphärität möglich ist.

Werden zwei unterschiedliche Partikeldurchmesser zu verschiedenen Zeitpunkten über dasselbe Glanzpunktpaar bestimmt, so läßt sich anhand der zeitlichen Änderung der Krümmung der Partikeloberfläche die Oszillationsfrequenz des Partikels abschätzen. Je mehr Einzelabbildungen, bzw. zeitlich separierte defokussierte Streifensysteme analysiert werden, desto besser ist die Schätzung der Oszillationsfrequenz. Bei vorher bekannter konstanter nichtsphärischer Form der Partikel z. B. Ellipsoide kann mit dieser Analyse auf die Rotationsgeschwindigkeit der Partikel geschlossen werden.

Des weiteren besteht ein Vorteil dieses Verfahrens darin, den Brechungsindex von Partikeln zu bestimmen. Wird mehr als eine Wellenlänge genutzt, so entstehen unterschiedliche Interferenzstreifensysteme aufgrund der Brechungsindexabhängigkeit des Partikelmediums. Liegen die Verbindungslinien der die Streifensysteme erzeugenden Glanzpunktpaare für nichtsphärische oder sphärische Partikel parallel zueinander, so ist der Brechungsindex des Partikels aus der unterschiedlichen Ortsfrequenz bzw. aus dem Phasenversatz der Streifensysteme zueinander bestimmbar.

Das Verfahren eignet sich auch zur Bestimmung von Inhomogenitäten innerhalb des Partikels. Für geschichtete sphärische Teilchen können zwei an unterschiedlichen Orten und damit aus zwei unterschiedlichen Lichtwegen durch das Teilchen resultierende Interferenzstreifenmuster miteinander verglichen und auf die Brechungsindexänderungen innerhalb des Partikels geschlossen werden. Eine Bestimmung von im Gegensatz zur eingestrahnten Wellenlänge kleinen Inhomogenitäten innerhalb des Partikels, z. B. Öltröpfchen in Wasser, ist da anhand der Änderung der Feinstruktur der Interferenzstreifensystem möglich.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden im folgenden näher beschrieben.

Kombination von Regenbogen- und PII-Meßverfahren

Für die vorgeschlagene Anordnung (Fig. 1) wird ein Einfach-Doppler- oder Mehrfachlichtpulsquelle (A), z. B. Nd-YAG-Laserpaar, Kupferdampf-Laser wird über eine Aufweitungsoptik (B) als Lichtschnitt (C) in das Strömungsfeld gebracht. Bei ca. 90° wird über eine Abbildungsoptik (D) mit der Bildebene (E) das zu untersuchende Strömungsausschnitt (J) abgebildet. Hinter oder vor der Bildebene (E) wird eine Kamera (F) eine "Out-of-Fokus"-Abbildung aufnehmen. Die Aufnahme kann eine Mehrfachbelichtung oder mittels einer sog. Kreuzkorrelationskamera zwei aufeinanderfolgende und mit der Belichtung synchronisierte Aufnahmen sein (G). Diese Aufnahmen werden in einem PC-Rech-

ner (H) zur Weiterverarbeitung geleitet. Die Neuigkeit dieser Anordnung besteht darin, daß gleichzeitig mehrere Partikel im Ausschnitt (J) mit der Regenbogenmeßtechnik (für das Beispiel Wasser in Luft Streuwinkel um 135°) bei Verwendung von zwei Glanzpunkten einer Ordnung pro Partikel untersucht werden können.

PII-Verfahren mit zwei Laserlichtschnitten

Abweichend von (Fig. 1) wird nun eine Strahlteileroptik (B) verwendet (Fig. 2), um zwei Laserlichtschnitte (C1) und (C2) im Meßbereich zu erzeugen. Die Strahlteileroptik (B) erzeugt dabei eine Strahlteilung und eine Aufweitung der Laserstrahlen. Die Realisierung der Strahlaufweitung kann sowohl einheitlich, über z. B. eine Strahlteilung und eine vor oder nach der Strahlteilung angeordnete Zylinderlinse, als auch getrennt, über Strahlteilung und zwei Zylinderlinsen für beide Strahlen erfolgen. Die Aufnahmeoptik (D+E+F) wird nun bei einem Streuwinkel positioniert, wo z. B. Brechung erster Ordnung dominiert. Die Interferenzstreifen folgen aus der Interferenz der zwei Streuwellen gleicher Streulichtrichtung von beiden Lichtschnitten. Es könnte das vorgestellte Auswertungsverfahren der Interferenzstreifenbeziehung zwischen den beiden Belichtungen zur Erhöhung der Genauigkeit genutzt werden, so lang eine Doppel- oder Mehrfachbelichtung verwendet wird.

PII-Verfahren mit zwei Laserlichtschnitten und stereoskopischer Aufnahme

Aufbauend auf Fig. 1 und Fig. 2 werden nun zwei Aufnahmeoptiken verwendet (Fig. 3), um dadurch eine dritte Geschwindigkeitskomponente, wie in der PIV-Technik üblich zu ermitteln. Während eine Optik in Vorwärtsrichtung empfängt, empfängt die zweite Optik in Rückwärtsrichtung. Die Als Beispiel hierfür sei die Messung von Wassertropfen in Luft (relativer Brechungsindex 1.33) genannt. In diesem Fall könnte die erste Optik Brechung und somit Streuwellen der Glanzpunkte erster Ordnung von den beiden Wellen (C1) und (C2), die zweite Optik zwei Streuwellen der Glanzpunkte der beiden Strahlen (C1) und (C2) aufgrund von Reflexion oder vier Streuwellen der Glanzpunkte der Brechung 2. Ordnung empfangen. Die Trennung der Interferenzmuster bei Brechung 2. Ordnung kann z. B. durch Ortsfrequenzanalyse (Streifenrichtung) erfolgen.

Als Abwandlung dieser Anordnung könnte mit einer Spiegelumlenkung der zweite Laserlichtschnitt auch gleichzeitig von der gegenüberliegenden Seite aufgespannt werden. Somit würden beide Empfänger in Vorwärtsstreuung arbeiten.

Stereoskopische Aufnahme in Vorwärtsstreuung

In der Anordnung aus (Fig. 4) arbeiten beide Empfangsoptiken auch in Vorwärtsrichtung und erfassen dennoch die dritte Geschwindigkeitskomponente.

Anordnung mit zwei Streifensystemen

In der Anordnung (Fig. 5) wird der Laserstrahl durch einem Strahlteiler (K) in zwei Teilstrahlen separiert. Mit jedem der beiden Teilstrahlen wird ein wie in den Anordnungen 1) bis 4) dargestellter Laserlichtschnitt erzeugt. Der Detektor oder die Detektoren (D+E+F) nehmen die Streuwellen von je zwei Glanzpunkten einer Streulichtrichtung von beiden Teilschnitten (C1A+C1B) und (C2A+C2B) auf. Die Separation der Laserlichtschnitte im Detektor kann auf unterschiedliche Weise erfolgen:

- über Farbtrennung, in diesem Fall ist der Strahlteiler (K) ein Farbteiler
- über Polarisation, der Strahlteiler (K) teilt den Strahl in zwei Strahlen und die Polarisation wird von (B1) und (B2) bzw. bereits im Strahlteiler (K) für beide Lichtschnitte unterschiedlich eingestellt
- über Ortsfrequenzanalyse der Abbildung, somit über die Ausrichtung des Streifenmusters in der Abbildung, K teilt den einfallenden in diesem Fall lediglich in zwei Strahlen.

Vorteil dieser Konfiguration ist, daß die Verbindungslinien zwischen den zueinander gehörigen Glanzpunkten nicht parallel zueinander sind, damit die abgebildeten Streifensysteme ebenfalls nicht parallel zueinander orientiert sind und somit Krümmungen der Tropfen in unterschiedliche Richtungen detektiert werden. Ähnlich wie beim Dual-Mode-PDA [16] ist damit eine Nichtsphärizitätserkennung möglich. Die Verwendung von unterschiedlichen Lichtquellen für beide Lichtschnitte statt des Strahlteilers (K), die Verwendung von mehr als einer Kamera, die zusätzliche Einstrahlung von weiteren Lichtschnitten und die nicht senkrechte Orientierung der beiden Lichtschnitte zueinander sind Varianten dieser Anordnung.

Anordnung mit doppeltem Kombination von PII- und Regenbogenmeßtechnik

Im Gegensatz zur Anordnung aus Fig. 5 kommen die zwei mal zwei Glanzpunkte gleicher Ordnung durch die Verwendung von Mehrfachlösungen der Streuung (Regenbögen) zustande Fig. 6. Die Trennung der Streifensysteme kann wiederum durch unterschiedliche Varianten. Die Verwendung von mehreren Kameras, weiteren Lichtschnitten und separierten Lichtquellen sind hier ebenfalls Varianten der Anordnung.

Aufnahme eines Volumenbereiches

In dieser Anordnung (Fig. 7) wird ein Volumenbereich (J) mit den Lichtschnitten (C1+C2) und dem Detektorerfassungsbereich aufgenommen. Dadurch ist eine dreidimensionale Messung der Verteilung, im Gegensatz zu den vorherigen Anordnungen möglich. Die Tiefenposition der Partikel läßt sich anhand der Größe des unscharfen Umrisses ermitteln und fällt in den Bereich der Auswerteverfahren. Variationen mit oben angeführten Anordnungen, z. B. Messung der dreidimensionalen Geschwindigkeitskomponente durch Verwendung von mehr als einer Kamera, Verwendung von mehr als einem Paar Glanzpunkte gleicher Ordnung durch zusätzliche Lichtschnitte und beliebige Orientierung der Lichtschnitte, sind grundsätzlich möglich.

Mehrfarbenanordnung

Alle bereits vorgestellten Anordnungen lassen sich auch mit einer mehrfarbigen Lichtquelle (A) (Ar⁺-Laser oder Weißlicht) realisieren (Fig. 8). Für diesen Fall entstehen aufgrund der Brechungsindexabhängigkeit mehrere Streifensysteme. Dabei ist jedem Streifensystem, bzw. jeder Abbildung eine Farbe zugeordnet. Die Abbildungen bzw. Streifensysteme werden, bei Dominanz einer Streulichtrichtung, beispielhaft in der oberen Skizze dargestellt, durch zwei Glanzpunkte gleicher Ordnung gebildet. Aus der Ortsfrequenz der einzelnen, mittels der Farbe getrennten, defokussierten Abbildungen läßt sich der Brechungsindex ermitteln.

Auch diese Anordnung ist durch Variation mit oben vorgestellten Anordnungen erweiterbar und veränderbar.

- [1] Durst, F.; Zaré, M. (1975): Laser Doppler measurement in two-phase-flows. Proc. LDA Symposium Copenhagen, Technical University of Denmark. Lyngby, Denmark, 403-429. 5
- [2] Flögel, H.-H. (1981): Untersuchung von Teilchengeschwindigkeit und Teilchengröße mit einem Laser-Doppler-Anemometer. Diplomarbeit im Studiengang Physik. Universität Bremen. Bremen, Germany. 10
- [3] Albrecht, H.-E. (1986): Laser-Doppler-Strömungsmessung (German). Akademie-Verlag, Berlin.
- [4] Durst, F.; Melling, A.; Whitelaw, J.H. (1987): Theorie und Praxis der Laser-Doppler-Anemometrie (German). G. Braun Verlag, Karlsruhe. 15
- [5] Raffel, M.; Willert, C. Kompenhans, J.: Particle Image Velocimetry, Springer Verlag 1998.
- [6] Hess C.F. 1998 Planar particle Image analyzer, Proc 9th Int. Symp. on Appl. of Laser Anemom. to Fluid Mech., Lisbon, paper 18.1. 20
- [7] Pajot O. and Mounaim-Rousselle C. 1998 Droplet sizing by interferometric method based on Mie scattering in an I.C. engine, Proc. 9th Int. Symp. of Appl. of Laser Techn. to Fluid Mechanics, Lisbon, paper 18.2.
- [8] Min S.L. and Gomez A. 1996 High-resolution size measurement of single spherical particles with a fast Fourier transform of the angular scattering intensity, Appl. Optics 35 No 24, 4919-4929. 25
- [9] Massoli P., Calabria R. 1999 Sizing of droplets in reactive fuel sprays by Mie scattering imaging, ILASS-Europe '99, Toulouse. 30
- [10] König G., Anders K., Frohn A. 1986 A new light scattering technique to measure the diameter of periodically generated moving droplets, I. Aerosol Sci. 17(2), 157-167.
- [11] Glover A.R., Skippon S.M., Boyle R.D. 1995 Interferometric laser imaging for droplet sizing: a method for droplet-size measurement in sparse spray systems, Appl. Optics 34(36), 8409-8421. 35
- [12] Ragucci R., Cavaliere A., Massoli P. 1990 Drop sizing by laser light scattering exploiting intensity angular oscillation in the Mie Regime, Part. Part. Syst. Charact. 7, 221-225. 40
- [13] Roth N., Anders K., Frohn A. 1991 Refractive-index measurements for correction of particle sizing methods Appl. Optics 20(17), 2911-2918. 45
- [14] Girasole T., Ren K.F., Lebrun D., Gouesbet G., Gréhan G. 1998 Particle imaging sizing: GLMT simulations, Proc. VSJ-SPIE 98, Yokohama, paper AB30095.
- [15] Schaller 1990 Laseroptische Meßtechnik: Erweiterung bestehender Verfahren und Entwicklung neuer Techniken, Habilitationsschrift, RWTH Aachen 50
- [16] Tropea, C.; Xu, T.-H.; Onofri, F.; Gréhan, G.; Haugen, P.; Stieglmeier, M.: "Dual Mode Phase Doppler Anemometer", Part. Part. Syst. Charact. 13 165-170 (1996)
- [17] Willert, C.: "Stereoscopic digital particle image velocimetry for application in wind tunnel flows", Meas. Sci. Technol. 8 1465-1479 (1997). 55

Patentansprüche

1. Anordnung einer oder mehrerer einen Volumen- oder Flächenbereich beleuchtender mono- oder polychromatischer Wellen und einer oder mehrerer flächen- oder linienhafter Detektoren zur flächen- oder volumenhaften defokussierten Abbildung der durch zwei oder mehrerer Glanzpunkte von im Beleuchtungs- 65
bereich der einfallenden Wellen befindlichen Partikeln erzeugten Interferenzstreifenmuster, **dadurch gekenn-**

zeichnet, daß jeweils ein der verschiedenen in der Abbildung aufgenommenen Interferenzstreifenmuster von zwei oder mehr Glanzpunkten ein und derselben Streulichtordnung, wobei Mehrfachlösungen einer Streulichtordnung eingeschlossen sind, erzeugt wird.
2. Verfahren zur Bestimmung des Partikeldurchmessers, des Brechungsindex, der Nichtsphärizität, der Oszillationseigenschaften, der Rotationsgeschwindigkeit nichtsphärischer Partikel und/oder des inneren Aufbaus von Partikeln, wobei unter Partikeln Tropfen, Blasen, Feststoffteilchen oder andere für die Wellenausbreitung bedeutsame Inhomogenitäten im Medium zu verstehen sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Beziehungen zwischen zwei oder mehr räumlich, zeitlich oder anderweitig zu trennenden defokussierten Abbildungen der Interferenzstreifenstruktur der von zwei oder mehrerer Glanzpunkte ausgehender Streuwellen zur Bestimmung der Partikeleigenschaften genutzt werden.

3. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß durch Einstrahlung einer Welle und durch Mehrfachlösungen für eine Streulichtordnung Glanzpunkte gleicher Ordnung ein oder mehrere Interferenzstreifensysteme für jeden im Abbildungsbereich des Detektors befindlichen Partikel erzeugen und über eine defokussierte Abbildung diese Interferenzstreifensysteme mit einem flächen- oder linienhaften Detektor aufgenommen werden.

4. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß durch Einstrahlung von zwei Wellen für jeden im Abbildungsbereich des Detektors befindlichen Partikel ein Interferenzstreifenmuster durch zwei Glanzpunkte derselben Streulichtordnung erzeugt wird und diese Interferenzstreifenmuster defokussiert auf einen den flächen- oder linienhaften Detektor abgebildet werden.

5. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere flächenhafte Detektoren an unterschiedlichen Raumpositionen, wobei jeder einzelne Detektor nach den Ansprüchen 3 und/oder 4 positioniert ist, die defokussierten Abbildungen der Glanzpunkte aufnehmen.

6. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein flächenhafter Detektor defokussierte Abbildungen von einem oder mehreren Glanzpunktpaaren aufnimmt, wobei die zu einem Paar gehörenden Glanzpunkte jeweils einer Streulichtordnung angehören und von einer Anordnung nach Anspruch 3 und/oder 4 erzeugt werden, wobei die Detektoren aus Anspruch 3 und 4 in dem einen Detektor kombiniert sind.

7. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere flächen- oder linienhafte Detektoren defokussierte Abbildungen der Glanzpunktpaare der Partikel im Abbildungsbereich liefern, wobei die Glanzpunktpaare aufgrund der Anordnung 3 und/oder 4 entstehen.

8. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die die Interferenzstreifensysteme erzeugenden Glanzpunktpaare durch polychromatische Beleuchtung erzeugt werden.

9. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem mathematisch beschreibbaren Zusammenhang der Interferenzstreifenstrukturen zweier oder mehrerer zeitlich separierter defokussierter Aufnahmen ein und desselben Partikels die Meßgenauigkeit der Partikeldurchmesserbestimmung erhöht werden kann im Vergleich zur Auswertung nur einer der beiden defokussierten Abbildungen.

10. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß zwei oder mehr zum gleichen Zeitpunkt aufgenommene defokussierte Abbildungen von zwei oder mehr Interferenzstreifenstrukturen ein und desselben Partikels unterschiedliche Oberflächenkrümmungen beschreiben und damit eine Bestimmung der Nichtsphärizität des Partikels ermöglichen. 5

11. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß aus zwei oder mehr zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommenen defokussierten Abbildungen der Interferenzstreifenstrukturen ein und desselben Partikels die Änderung der Oberflächenkrümmung und damit die Oszillationsfrequenz von schwingenden Tropfen oder Blasen bestimmt wird. 10

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß aus der zeitlichen Änderung der Interferenzstreifenstruktur auf die Rotationsgeschwindigkeit eines Feststoffpartikels geschlossen wird. 15

13. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß aus der Beziehung von zwei oder mehreren zum gleichen Zeitpunkt aufgenommenen defokussierten Interferenzstreifenstrukturen unterschiedlicher Wellenlänge der Brechungsindex des Partikels bestimmt werden kann. 20

14. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß aus zwei oder mehr zum gleichen Zeitpunkt von unterschiedlichen Beobachtungsrichtungen aus aufgenommenen defokussierten Abbildungen eines oder mehrerer Interferenzstreifensysteme die innere Struktur eines Partikels abgeleitet werden kann. 25 30

15. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß aufgrund des Vergleiches der Feinstruktur zweier oder mehrerer defokussierter Abbildungen der Interferenzstreifenstruktur auf Inhomogenitäten innerhalb des Partikels geschlossen werden kann. 35

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

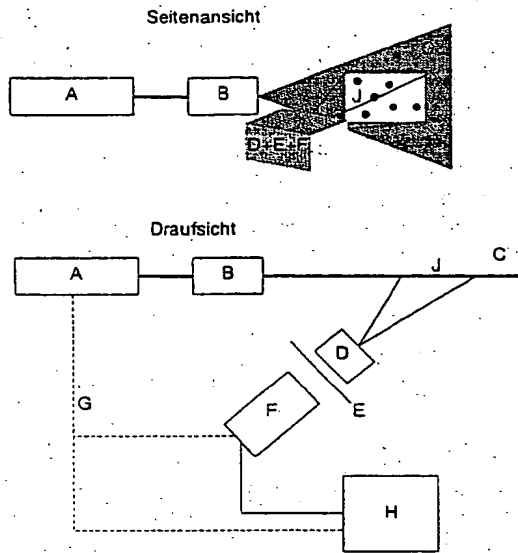


Fig. 1

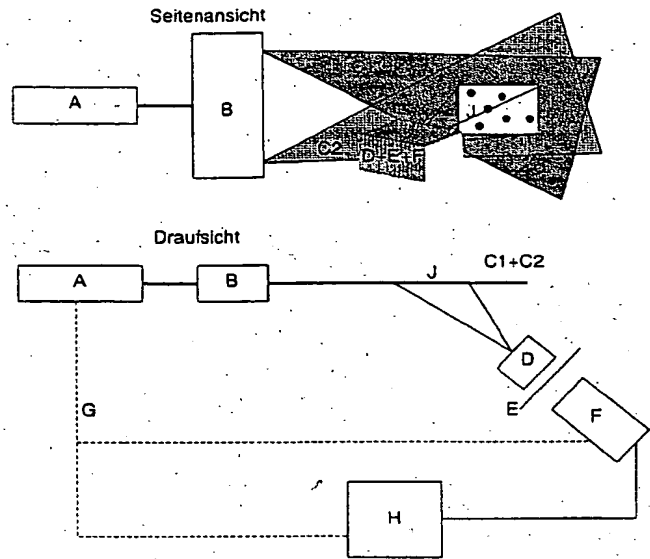


Fig. 2

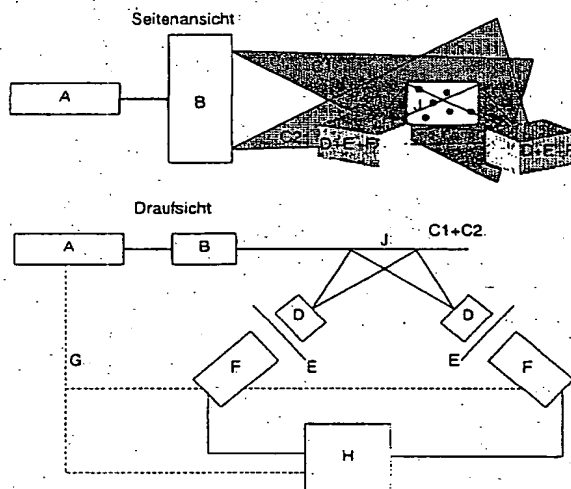


Fig. 3

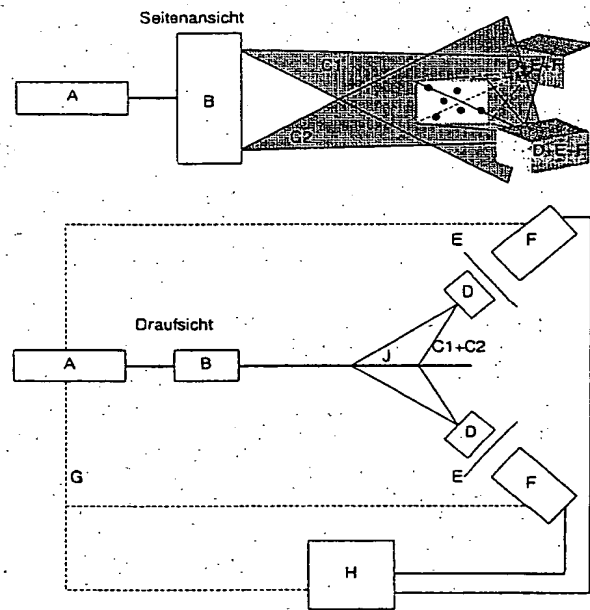


Fig. 4

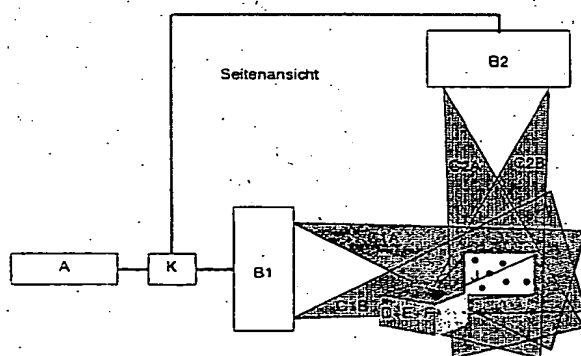


Fig. 5

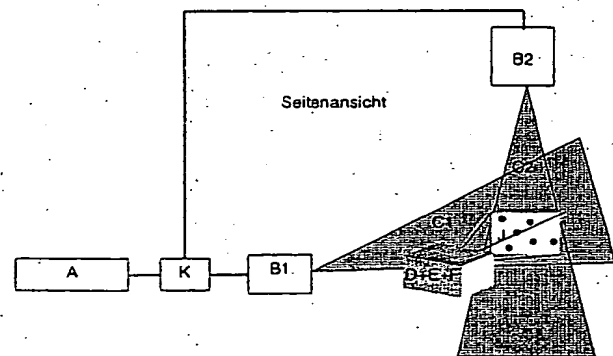


Fig. 6

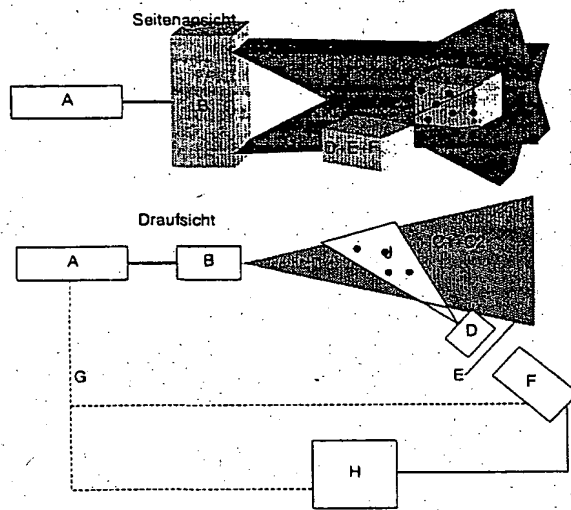


Fig.7

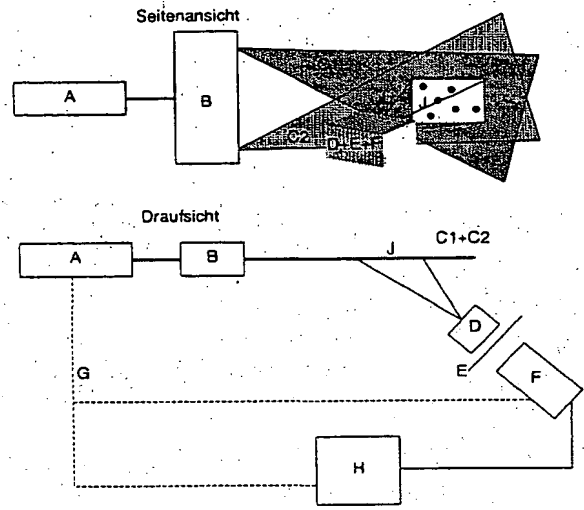


Fig.8